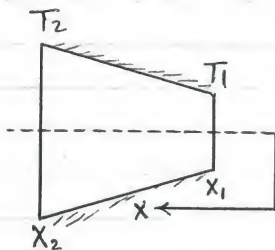


①

EX: The diagram shows a conical section fabricated from pyroceram ($K = 3.5 \text{ W/m.K}$). It is of circular cross section with the diameter $D = ax$, where $a = 0.25$. The small end is at $X_1 = 50 \text{ mm}$ and the large end at $X_2 = 250 \text{ mm}$. The end temperatures are $T_1 = 400 \text{ K}$ and $T_2 = 600 \text{ K}$, while the lateral surface is well insulated.

- 1- Drive an expression for the temperature distribution $T(x)$ in symbolic form, assuming one-dimensional conditions.
- 2- calculate the heat rate through the cone.



Data: Variable area in the heat flow direction

$$K = 3.5 \text{ W/m}^\circ\text{C} \quad D = a \cdot x \quad ; \quad a = 0.25$$

$$X_1 = 50 \text{ mm} \quad , \quad X_2 = 250 \text{ mm}$$

$$T_1 = 400^\circ\text{C} \quad , \quad T_2 = 600^\circ\text{C}$$

Req:- ① Expression for temperature distribution $T(x)$

② Q heat rate between cone two ends.

Soln For conduction heat transfer under steady state,
one dimensional condition without heat generation

$$\rightarrow Q_x = -K A \frac{dT}{dx} \quad \text{where } A = \frac{\pi}{4} D^2 = \frac{\pi}{4} a^2 \cdot x^2$$

$$Q_x = -K \cdot \frac{\pi \cdot d^2 \cdot x^2}{4} \cdot \frac{dT}{dx}$$

$$\frac{4 \cdot Q_x}{\pi \cdot a^2} \cdot \frac{dx}{x^2} = -K \cdot dT \quad \text{Where } Q_x = \text{const}$$

بالنظام X بالترتيب $X \rightarrow X_1 \leftarrow X$ أي مافيه خلاف الشروط
والنظام T بالترتيب $T \rightarrow T_1 \leftarrow T$ وهو ما، ومعنى ما بعد X من الجواب

$$\frac{4 \cdot Q_x}{\pi \cdot a^2} \cdot \int_{x_1}^{\bar{x}} \frac{dx}{x^2} = -K \int_{T_1}^T dT$$

②

$$\frac{4 \cdot Q_x}{\pi \cdot a^2} \left(-\frac{1}{x} + \frac{1}{x_1} \right) = -K (T - T_1)$$

$$-\frac{4 \cdot Q_x}{\pi \cdot a^2 \cdot K} \left(-\frac{1}{x} + \frac{1}{x_1} \right) = T - T_1 \quad \text{where } T = T(x)$$

$$T(x) = T_1 - \frac{4 \cdot Q_x}{\pi a^2 \cdot K} \left(\frac{1}{x_1} - \frac{1}{x} \right) \rightarrow \textcircled{I}$$

$$\therefore \text{at } x = x_2 \Rightarrow T = T_2$$

بالعوض في المعادلة ① لـ Q_x

$$T_2 = T_1 - \frac{4 \cdot Q_x}{\pi a^2 \cdot K} \left(\frac{1}{x_1} - \frac{1}{x_2} \right)$$

$$\Rightarrow Q_x = (T_1 - T_2) \cdot \frac{\pi a^2 \cdot K}{4} \cdot \frac{1}{\left(\frac{1}{x_1} - \frac{1}{x_2} \right)}$$

بالعوض في المعادلة ① لـ $T(x)$

$$T(x) = T_1 - \frac{4}{\pi a^2 \cdot K} \cdot (T_1 - T_2) \cdot \frac{\pi a^2 \cdot K}{4} \cdot \frac{1}{\left(\frac{1}{x_1} - \frac{1}{x_2} \right)} \cdot \left(\frac{1}{x_1} - \frac{1}{x} \right)$$

$$T(x) = T_1 + (T_1 - T_2) \cdot \frac{\left(\frac{1}{x} - \frac{1}{x_1} \right)}{\left(\frac{1}{x_1} - \frac{1}{x_2} \right)}$$

The heat rate through the cone $Q(x)$

$$Q_x = (T_1 - T_2) \cdot \frac{\pi a^2 \cdot K}{4} \cdot \frac{1}{\left(\frac{1}{x_1} - \frac{1}{x_2} \right)}$$

$$= (400 - 600) \cdot \frac{\pi \cdot (0.25)^2 \cdot 3.5}{4} \cdot \frac{1}{\left(\frac{1}{0.05} - \frac{1}{0.25} \right)}$$

$$Q_x = -2.14757 \text{ Watt}$$

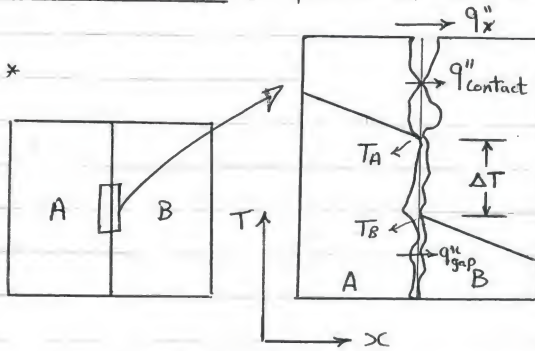
③

معامل التوصيل الحراري

* Thermal conductivity (K): The ability of a material to conduct the heat energy.
 هو مقدرة المادة على نقل وتحويل الطاقة الحرارية

* Thermal contact resistance ($R_{t,c}$): المقاومة الحرارية عند الاتصال بين السطحين

* عند سطح الاتصال بين مادتين خلال جدار مركب إذا كان بين السطحين فراغات مثلاً مقاومة بخلاف مقاومة كل مادة على حدة تعرف بمقاومة الاتصال وتبين حدوث انخفاض في درجة الحرارة فجأة عند سطح الاتصال



ΔT : The temperature drop due to Thermal contact resistance

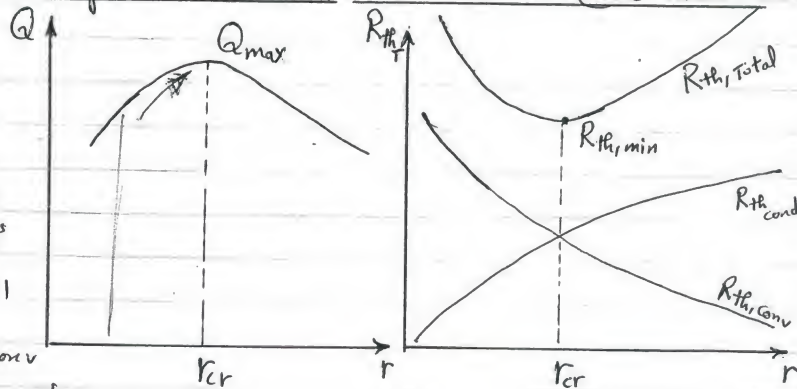
$$R_{t,c} = \frac{T_A - T_B}{q''} = \frac{1}{h_c \cdot A_c}$$

* Critical radius of insulation (r_{cr}) نصف قطر المرجح للعازل الأمثل أو الكلي

نصف قطر المرجح للعازل هو نصف القطر الذي عنده يكون معدل انتقال الحرارة أقصى ما يمكن Q_{max} أو يكون عند المقاومة الكلية لانتقال الحرارة

$$R_{th,T} = R_{th,cond} + R_{th,conv}$$

أقل ما يمكن ومعدل العزل



فعال (effective) إذا كان $r_o > r_{cr}$ ويكون العزل غير فعال (not effective) إذا كان $r_o < r_{cr}$ لأنه إضاعة عزل سوف تسبب زيادة معدل انتقال الحرارة Q

$$r_{cr,cylinder} = \frac{k_{insul}}{h_o} \quad \text{and} \quad r_{cr,sphere} = \frac{2 k_{insul}}{h_o}$$

(4)

* Fin Effectiveness; (ϵ_{fin}):

$$\epsilon_{fin} = \frac{Q_{fin}}{Q_{without}} = \frac{\text{كمية الحرارة الفعلية المنتقلة من سطح الزعنفة}}{\text{كمية الحرارة المنتقلة من المساحة التي تم تركيب الزعنفة عليها}}$$

$$\epsilon_{fin} = \frac{\sqrt{hPKAc} * \theta_0 * \tanh mL}{h Ac * \theta_0} \Rightarrow \text{على اعتبار نوع الزعنفة (long and thin)}$$

* Overall effectiveness ($\epsilon_{fin, overall}$):

$$\epsilon_{fin, overall} = \frac{N * Q_{fin} + Q_{main surface}}{Q_{without}} \quad \begin{array}{l} \text{كمية الحرارة الخارجة من سطح بعد} \\ \text{قطع مساحات الزعنفة} \end{array}$$

* What are the basics for choosing the thermal insulations?

ما هي الأساسيات لاختيار المواد العازلة

- ① التوصيلية الحرارية (K) الخاصة بالمادة العازلة
- ② تماسك بناء المادة العازلة
- ③ أقصى درجة حرارة يمكن أن تتحملها المادة العازلة
- ④ ثبات المادة العازلة مع التفاعلات الكيميائية
- ⑤ تكلفة شراء وتثبيت المادة العازلة

* Difference between Thermodynamic and heat transfer.

- Thermodynamics give a macroscopic view for heat energy transmitted during the equilibrium state

الترموديناميك يعطي نظرة عامة (كاملة) للطاقة الحرارية التي تنتقل أثناء حالة الاتزان فقط.

- Heat transfer give a microscopic view for the process of heat energy transmitted during both transient and equilibrium state

انتقال الحرارة يعطي نظرة دقيقة (مفصلة) للطاقة الحرارية التي تنتقل أثناء حالة الاتزان وكذلك أثناء الفترة الانتقالية حيث لا يكون حالة الاتزان.

وبالتالي فانه Heat Transfer يهتم بالطرق التي يتم بها انتقال الطاقة الحرارية وكذلك المساحة التي خلالها يتم انتقال الحرارة وفاعلية (E) الجدار الذي يحدث انتقال الحرارة خلاله.

(5)

* Fin efficiency (η_{fin}):

$$\eta_{fin} = \frac{\text{Actual heat transfer by fin}}{\text{Heat transfer from fin surface if we assume that the total fin surface at } T_b \text{ (base temperature)}}$$

$$\eta_{fin} = \frac{Q_{fin, \text{actual}}}{Q_{fin, \text{max}} \equiv Q_{fin, \text{ideal}} = h A_{fin, \text{total}} (T_b - T_\infty)}$$

من قوائم التفاضل $Q_{fin, \text{actual}}$ $Q_{fin, \text{max}} \equiv Q_{fin, \text{ideal}}$ $h A_{fin, \text{total}}$ $(T_b - T_\infty)$

* What is the lumped system analysis? When is it applicable

هو طريقة لتبسيط تحليل (درا) انتقال الحرارة بالتوصيل الغير متفرغ وفيها تكون درجة الحرارة للجسم دالة في الزمان فقط

$$T(t) - T_\infty = (T_i - T_\infty) e^{-\frac{h A_s}{\rho V c} \tau} \quad T = f(t)$$

ويمكن تطبيقه واستدلاله على الأنظمة الغير متفرقة عند ما يكون

$$Bi = \frac{h \times L_c}{K} < 0.1$$

أو عند ما يكون

① حجم الجسم صغير، مساحة السطح كبيرة

② التوصيل الحراري لمادة الجسم عالي جداً

③ معامل انتقال الحرارة بالحمل بين الجسم والوسط صغير

ملاحظة: الإجابات البتيرة ذات معامل توصيل حراري عالي (K) ومعامل انتقال الحرارة بالحمل

المنخفضة هي الأكثر احتمالاً لتطبيقه متطلبات (معايير) طريقة "lumped system analysis"

⑥ * unsteady conduction H.T

* Fourier number (Fo) $\approx (\tau)$: Dimensionless time

$$Fo = \frac{\alpha \cdot \tau}{L_c^2} \quad \text{where} \quad \alpha = \frac{k}{\rho \cdot c} \quad \downarrow$$

معامل الانتشار الحراري
Thermal diffusivity

* Time constant (τ^*):

عبارة عن مقلوب معامل التبريد في معادله ←

$$\frac{T(\tau) - T_\infty}{T_i - T_\infty} = e^{-\frac{h A_s}{\rho V c} \cdot \tau}$$

$$\Rightarrow \tau^* (\text{Time constant}) = \frac{\rho V c}{h \cdot A_s}$$

Where

$$\tau^* \equiv \tau_t = \left(\frac{1}{h A_s} \right) \cdot (\rho V c) = R_t \cdot C_t$$

where R_t ! مقاومة لانتقال الحرارة بالحمل

C_t : The lumped thermal capacitance of the solid
السعة الحرارية للمادة المعطاة بكتلة

وأي زيادة في R_t أو C_t سوف تسبب انه سيكون استجابة الجسم للتغيرات في الوسط المحيط (تغيرات حرارية) بطيئة جداً، وسوف تسبب زيادته الفترة الزمنية اللازمة للوصول حالة الاستقرار الحراري بين الجسم والوسط المحيط ($\theta = T(\infty) - T_\infty = 0$)

و هذا مماثل لحالة انخفاضه (انحدار) الفولت في حالة تفريغ مكثف
فذلك مقاومة من دائرة كهربية "RC"